RE COSA MATERIALE ET LE PROGRAMME COMPOSITIONNEL ICOSA

Marc BATTIER

Le programme ICOSA représente une tentative de jeu musical conversationnel, se référant à des modèles compositionnels répandus en musique électroacoustique.

L'idée du projet peut se résumer comme la génération d'une hétérophonie, développant un profil dynamique par fréquence. Parmi les contraintes de natures différentes qu'on peut apporter à cette définition, nous verrons plus loin celles relevant de la décision compositionnelle.

Pour le lecteur peu familiarisé avec l'équipement dont il est question ici, nous évoquerons quelques propriétés des dispositifs mis en oeuvre, ainsi que le choix et la composition de l'instrument de synthèse.

LA SYNTHESE HYBRIDE

Le G.A.I.V. dispose d'un système de synthése musicale hybride, organisé autour d'un mini-ordinateur INTELLEC–8. Le musicien utilise un langage de programmation écrit par Patrick GREUSSAY, INTELGREU, et différents périphériques parmi lesquels l'inévitable télétype, un dispositif de conversion numérique-analogique (DAC) et un synthétiseur. Le dispositif de conversion numérique-analogique utilisé pour cette pièce comprend huit

convertisseurs, destinés à délivrer une tension continue (côté analogique) en échange d'une information binaire (côté numérique). C'est cette tension, image analogique des nombres produits par le programme, qui servira à commander les dispositifs du synthétiseur.

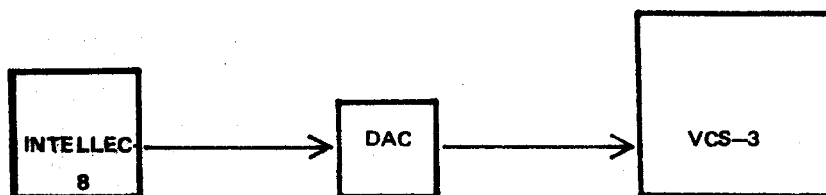


Figure 1

Le lecteur désirant une information plus précise peut se référer aux brochures traitant du sujet (1).

Il est clair que l'organisation du programme, son écriture, dépendent de l'instrument de synthèse sonore qu'on veut commander.

DESCRIPTION DE L'INSTRUMENT

Le synthétiseur utilisé offre plusieurs dispositifs permettant de réaliser la mise en forme dynamique d'un signal audiofréquence. Nous devrons choisir les plus favorables à notre projet. Parmi ceux-ci, il en est un spécifiquement destiné à cette utilisation, le générateur d'enveloppe (ENVELOPE SHAPER). Ce terme désigne en réalité deux éléments distincts : un ampli à gain variable, commandé en tension (VCA : Voltage Controlled Amplifier), et le générateur de tension de commande lui-même, le générateur Trapézoïde. On obtient avec cet appareil une certaine variété d'enveloppes.

(1) Giuseppe G. ENGLERT. «FRAGOLA. UN INSTRUMENT DE MUSIQUE ET/OU UNE COMPOSITION ?». Artinfo/Musinfo 22, 1977. 1-8.

Marc BATTIER. INTELGREU MUSICAL OU QUELQUES ASPECTS DE LA SYNTHESE HYBRIDE. Dépt. Musique, Dept. Informatique. à paraître.

Toutefois, le trapézoïde n'est pas lui-même commandable en tension ; l'accès d'une tension externe n'affecte qu'une partie de sa période. Il ne se prête pas à une liaison avec l'ordinateur, puisque son cycle est programmé intérieurement. Il nous permettra cependant de définir les moments d'une enveloppe dynamique simple.

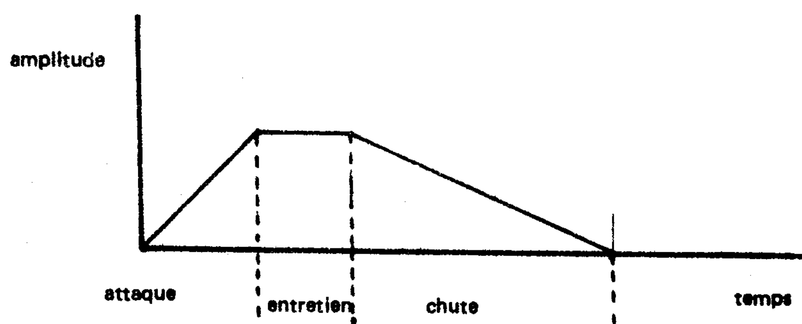


Figure 2

Un deuxième dispositif offre une souplesse plus grande : **l'ampli de sortie** du synthétiseur. Il s'agit d'un VCA. Mais ici, la tension de contrôle proviendra directement du DAC. Le gain du VCA augmente comme l'amplitude du signal de commande : en lui appliquant une tension en progression, on obtient un profil dynamique croissant. Le programme réalisera des enveloppes de type percussion-résonance.

Le filtre passe-bas peut être assimilé d'une certaine façon à un variateur d'enveloppe. Le déplacement de la fréquence de coupure du filtre selon une période en-deça/au-delà/en-deça du spectre d'un son provoque une image psychique de crescendo–decrescendo ; il s'agit bien d'une apparition/disparition d'energie. Toutefois, l'action dynamique est sélective, elle se réalise en fréquence. L'oreille pourra tantôt percevoir une modification de timbre, tantôt une variation dynamique. Il reste que les deux phénomènes sont liés, et que le premier aura tendance à masquer le dernier. L'effet dynamique lutte avec la modification de timbre, selon que l'accent est mis sur la vitesse de déplacement de la fréquence de coupure, sa position par rapport au registre du spectre, etc.

LA COMMANDE DYNAMIQUE DE L'ORDINATEUR

Pour réaliser le matériau sonore de la pièce, le programme aura à spécifier deux éléments : la fréquence de l'oscillateur choisi et la variation dynamique du VCA ou du filtre. Un DAC sera chargé de la commande de fréquence, tandis que la commande du VCA sera assurée par un deuxième DAC. La commande dynamique suivant les modèles de percussion–résonnance s'applique à un son électronique généré par l'oscillateur.

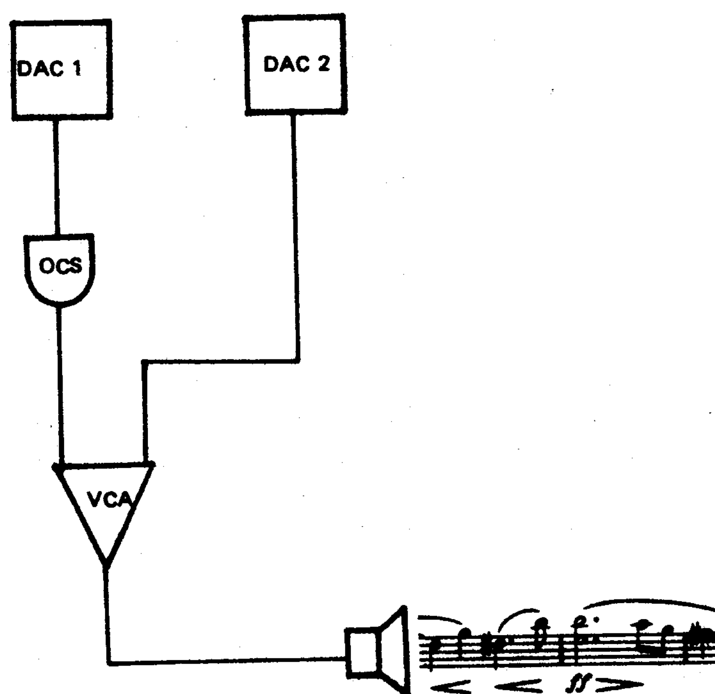


Figure 3

Chaque enveloppe naissante laissera apparaître une fréquence nouvelle. Le programme devra coordonner la recherche d'une fréquence et le calcul de l'enveloppe. Si cette remarque ne laisse rien préjuger des durées, ni de l'étendue des hauteurs des sons, elle introduit à

la description de l'écriture du programme. La figure 4 précise un déroulement possible. Le diagramme du haut représente une suite d'enveloppes, et le diagramme associé la suite de fréquences. A chaque extinction dynamique correspond la recherche d'une nouvelle fréquence.

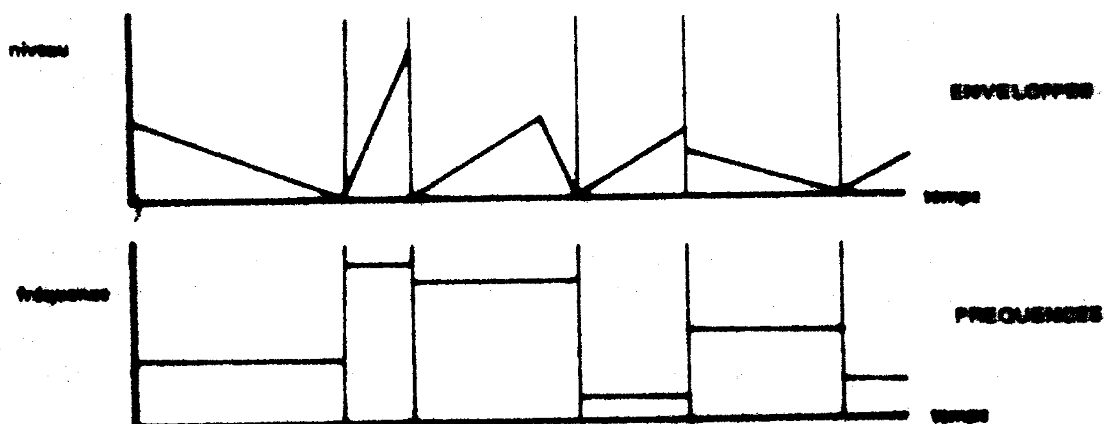


Figure 4

Plus précisement, le programme devra déterminer à chaque nouveau cycle 3 paramètres :

- la fréquence du signal mis en forme ;
- la valeur maximale de l'enveloppe ;
- la durée de l'enveloppe.

L'ALGORITHME DYNAMIQUE

A fin de développer des profils dynamiques plus variés que de simples dents de scie, l'enveloppe sera divisée en deux moments : la croissance jusqu'à un maximum, la décroissance depuis un nouveau maximum jusqu'à l'extinction complète. On disposera d'une richesse potentielle d'enveloppes plus large.

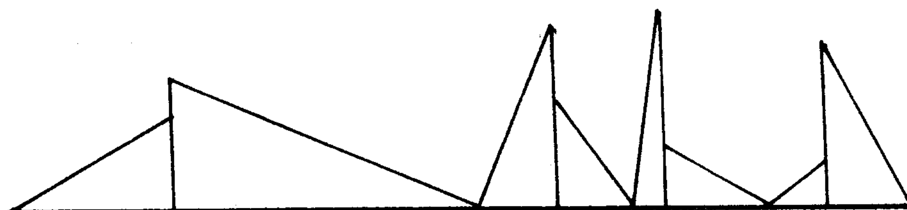


Figure 5

Le sous-programme IN.V est chargé du calcul de la partie croissante de l'enveloppe. Celle-ci est représentée par l'identificateur V_{var}, qui désigne la variation du VCA. V_{var} varie de 0, qui correspond à l'ampli fermé, au silence, jusqu'à la valeur maximale aléatoire V_{max}. Chaque nouvelle valeur de V_{var} représente la valeur instantanée de l'enveloppe. Quand l'incrémentation atteint la borne supérieure V_{max}, le sous-programme DC.V prend le relais, en décrémentant l'identificateur V_{var} depuis une valeur aléatoire V_{max} jusqu'à 0. Chaque pas permet l'envoi vers le DAC de la valeur courante. A la fin du cycle, le programme génère une nouvelle fréquence aléatoire FRV, ou FRéquence de l'oscillateur mis en forme par le VCA.

Enfin, la durée totale de l'enveloppe intervient au moyen d'une boucle de temporisation explorée à chaque pas de l'incrémentation ou de la décrémentation. (voir le sous-programme IN.V en 1080,
DC.V en 10B0,
FR.V en 10E4,
la temporisation en 1100.)

La représentation du déroulement du programme, du moins à ce stade élémentaire, suit les quatre étapes suivantes :

1 – PROGRAMME APPELANT — teste si l'enveloppe croît (appel IN.V) ou décroît (appel DC.V)

2 – SOUS–PROGRAMME FR.V — FRV aléatoire sortie sur le DAC

3 – SOUS-PROGRAMME IN.V

$V_{var} \leftarrow V_{var} + 1$
si $V_{var} \neq V_{max}$ alors RETOUR
la croissance n'est pas finie
sinon
. calculer une nouvelle durée, i.e. le coefficient de la boucle de temporisation
. tirer la valeur aléatoire maximale à atteindre (V_{max})
. $V_{var} \leftarrow 0$
RETOUR

4 – SOUS-PROGRAMME DC.V

$V_{var} \leftarrow V_{var} - 1$
si $V_{var} \neq 0$ alors RETOUR
la décroissance n'est pas finie
sinon
. calculer une nouvelle durée
. tirer la valeur aléatoire de V_{ma}
. tirer la valeur aléatoire de FRV nouvelle fréquence à sortir
RETOUR

On remarquera que l'exemple ne porte que sur un dispositif dynamique, le VCA. En réalité, le programme en utilise un second, le filtre passe-bas du synthétiseur, comme on l'a vu plus haut. Son évolution formelle est proche de celle du VCA, mais son comportement est particulier : la fréquence de coupure du filtre, i.e. le point de filtrage d'un spectre, ne s'élève pas quand la tension augmente, mais elle baisse. Elle varie, comme un VCO, inversement à la tension de commande. D'où, notre image d'enveloppe devra se renverser pour obtenir l'effet désiré. Pour que la fréquence de coupure suive le modèle d'une courbe enveloppe, on devra d'abord lui envoyer une tension élevée qui decroît, puis qui croît de nouveau.

L'identificateur F_{var} est initialisé à la valeur maximale (ici 256_{10}, soit FF en hexadécimal, noté FF_H), puis décrémenté dans le sous-programme DC.F jusqu'à la valeur aléatoire F_{max}. A cette valeur seuil, le programme principal appelle la subroutine IN.F. F_{var} prend une nouvelle valeur aléatoire et progresse jusqu'à FF_H. Le cycle terminé, on génère une nouvelle fréquence FRF.

La figure 6 représente l'évolution contraire de nos deux enveloppes.

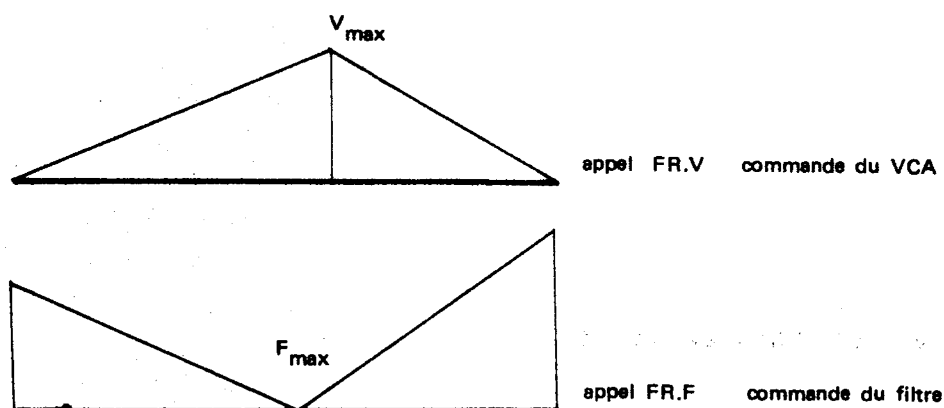


Figure 6

(voir DC.F en 114D
IN.F en 1170
FR.F en 10CB).

LE SOUS PROGRAMME D'ALÉATOIRE

Il utilise l'algorithme de génération pseudo-aléatoire de Patrick GREUSSAY. La valeur courante du générateur est stockée à l'adresse 1400, et le programme devra auparavant préserver la valeur du registre L ; enfin l'aléatoire est distribué entre un grand nombre de paramètres. On ne risque pas de déceler la redoutable présence de séries lors de l'exécution de la pièce.

(voir 1120 – 1131).

SUPERVISATION DU PROGRAMME PRINCIPAL

Terminons cette description globale en mentionnant la synchronisation entre les sous-programmes. Rappelons que les sous-programmes IN.V et DC.V d'une part, DC.F et IN.F d'autre part calculent respectivement la valeur de V_{var} et de F_{var}, représentant la valeur instantanée de l'évolution dynamique du son. Afin de générer deux voix indépendantes, obéissant chacune à ses propres contraintes, il est nécessaire de les synchroniser. L'idée consiste à calculer la valeur courante de V_{var}, le sortir sur le DAC, puis de calculer la valeur courante de F_{var}, le sortir, et ainsi de suite. Elle est assurée par deux moniteurs : V_1 et F_I.

Moniteur V_1 (100A)

. teste si le sous-programme courant est IN.V ou DC.V
. charge l'accumulateur avec la valeur courante de V_{var}
. appelle le sous-programme de sortie (1100)
. appelle le sous-programme IN.V ou DC.V ; le sous-programme courant aura alors à incrémenter ou décrémenter, selon le cas, V_{var} de 1 pas
. passe au moniteur F_1 (1044).

LE PROGRAMME ICOSA

Il est destiné à deux synthétiseurs indépendants, soient quatre voix :

synthétiseur 1	voix 1	oscillateur sur VCA_1
	voix 2	oscillateur sur $filtre_1$
synthétiseur 2	voix 3	oscillateur sur VCA_2
	voix 4	oscillateur sur $filtre_2$

On dispose de quatre moniteurs :

moniteur	V_1	pour le	VCA_1	en	100A
"	V_2	"	VCA_2	"	1044
"	F_1	"	$filtre_1$	"	119A
"	F_2	"	$filtre_2$	"	11D0

L'ordre des séquences de sortie est le suivant :

. moniteur V_1
sort V_{var} sur la voix 1
IN.V ou DC.V

moniteur F_1
sort F_{var} sur la voix 2
DC.F ou IN.F

moniteur V_2
sort V_{var} sur la voix 3
IN.V ou DC.V

moniteur F_2
sort F_{var} sur la voix 4
DC.F ou IN.F

L'appel des sous-programmes dépend d'un aiguillage AIG, positionné à 1 pour l'incrémentation, sinon à 0. Chaque fois qu'un seuil est atteint, AIG se renverse.

Un compteur CPT est présent pour diminuer l'entropie élevée du choix des régions. Ainsi la région 0, quand elle est choisie, engendre un nombre plus élevé d'enveloppes que la région 4 (on favorise par ce moyen l'apparition de constellations de sons brefs).

Il existe deux raisons à cela. L'existence d'une temporisation issue de la région 4, longue, ralentit l'exécution de l'ensemble du programme. C'est la première raison. La seconde favorise l'apparition de séries d'enveloppes. On espère ainsi créer des suites d'enveloppes dynamiques lentes, auxquelles succéderait une constellation de sons brefs. De plus, la temporisation est particulière à chaque demi-enveloppe : dès lors les profils dynamiques contigus auront leur croissance tirée d'une même région, leur décroissance d'une autre ou de la même. On crée ainsi, au hasard des voix, des rapports de proximité ou de superposition. Le contenu de CPT est décrémenté à chaque fois qu'une demi-enveloppe est achevée. Lorsque CPT atteint 0, un appel de valeur aléatoire de REG est effectué et un bref algorithme permet de réinitialiser CPT. Ce mode de calcul dépend des valeurs courantes de REG et de TEM.

$$CPT = \frac{FF_H}{REG+3} + \frac{TEM}{REG+2}$$

(voir 123F — 1275).

On obtient par ce calcul une valeur de CPT plus elevée pour la région 0 que pour les régions 3 ou 4.

Enfin, un deuxième type d'intervention conversationnelle est offert à l'interprète de la pièce : l'apparition sur les quatre voix de nuages de sons brefs. Lorsque le sous-programme REGTEM possède pour REG la valeur 0, il se termine par un test sur le mot d'entrée provenant de la console .

(voir 1294 — 1297).

Si le bit 0 est à 1, l'ensemble des identificateurs de régions prennent la valeur 0. Ainsi, tous les REG étant à 0, les voix ayant à choisir leur temporisation prendront des valeurs de durée très brève.

(voir 129B — 12B3).

LES TEMPI ET LES REGIONS DE L'HETÉROPHONIE

Si l'on a plus haut réalisé les moyens d'une polyphonie mélodique, on peut souhaiter la combiner avec une polyphonie de tempi, elle même formée de séries d'enveloppes. Le sous-programme REGTEM est chargé de gérer les paramètres déterminants de l'hétérophonie. L'étendue de durée de chaque demi-enveloppe est découpée en quatre régions :

REG 0	durées brèves
REG 1	brèves à semi-brèves
REG 2	brèves à longues
REG 3	semi-brèves à très longues

Chaque région est constituée d'ambitus de durées, dont la valeur courante TEM sera fournie à la boucle de temporisation (1100). La gestion par les quatre moniteurs de l'ensemble du programme occupe une durée réelle variable, qu'on peut considérer comme musicalement assez longue. Par conséquent, les itérations de la boucle de temporisation pourront osciller entre des nombres très faibles pour la région 0 et des nombres moyens pour la région 4.

Les valeurs des REG 0 et REG 1 proviennent d'un filtrage d'aléatoire

REG 0 = {2,5}
REG 1 = {1,8}

(voir REG 0 : 1222 à 122A
REG 1 : 1218 à 121E).

Les valeurs des REG 2 et 3 sont données par l'interprète au clavier de l'INTELLEC, multipliées par l'indice de région et augmentées d'une constante.

$$\text{DONNEES} = \{18_H, 3B_H\}$$
$$\text{REG } 2 = \text{DONNEES}^{*}2 = \{30_H, 76_H\} + 0F_H = \{3F_H, 85_H\}$$
$$\text{REG } 3 = \text{DONNEES}^{*}3 = \{60_H, EC_H\} + 0F_H = \{6F_H, FB_H\}$$

REG	0	1	2	3
TEM	2,5	1,8	3F,85	6F,FB

RÉALISATION DE RE COSA MATERIALE

La version du programme ICOSA en musique électronique vivante, RE COSA MATERIALE, utilise deux synthétiseurs VCS-3 EMS, et le dispositif de conversion numérique/analogique 8-DAC construit par Christian COLÈRE. La figure 7 précise l'attribution des DACs. Un dispositif réalisé par Didier RONCIN intègre les impulsions arrivant lors d'enveloppes très brèves, avec des transitoires d'attaques intenses, sur les voies 04 et 40.

On trouvera en figure 8 la description de l'instrument, et plus bas le patch du synthétiseur. Il ne s'agit pas dans ces quelques lignes de se substituer à une partition, dont l'écriture dépend des choix de l'interprète-compositeur, mais de mentionner quelques remarques tirées de réalisations antérieures.

Le jeu conversationnel autorise une adéquation entre les choix de l'interprète et les variations du programme. Le système réalisé autorise l'interprète à modifier son jeu par des réglages du synthétiseur et des DACs. Les variations de l'étendue des tensions de commande entraînent autant d'ambitus de fréquences ; le filtre se prête particulièrement à ces altérations. De même, les oscillateurs se situent dans des registres que l'on peut déplacer, de l'extrême grave à l'extrême aigu. Ainsi, l'interprète peut modifier la fréquence des oscillateurs, le degré de résonance du filtre, le taux de réverbération. Sur le convertisseur, les niveaux de sortie des DACs 08 et 80 pour les filtres, 04 et 40 pour les VCA pourront varier selon le caractère du mouvement.

ADRESSE DAC	80	40	20	10	08	04	02	01
DISPOSITIF	FILTRE1	VCA2	FRF2	FRV2	FILTRE1	VCA1	FRF1	FRV1

Figure 7 : Tableau de la distribution des DACs sur les synthétiseurs

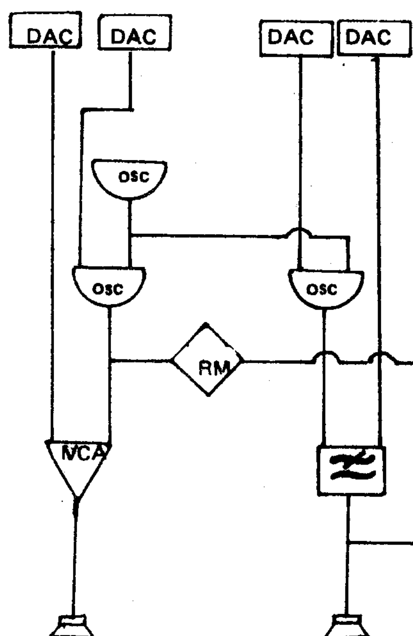
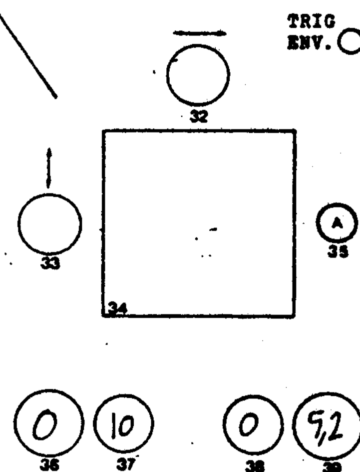


Figure 8

OSC 1				RM	FILTER/OSC		
8,5 (1)	5 (2)	7 (3)	(4)	4 (5)	6 (6)	6 (7)	7 (8)
OSC 2				**ENVELOPE**			
6 (9)	5 (10)	7 (11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
OSC 3				**REVERB**			
3 (17)	5 (18)	(19)	8 (20)	2 (21)	7 (22)	(23)	(24)
NOISE		**INPUT**		**OUT. FILTERS**			
(25)	(26)	(27)	(28)	5 (29)	5 (30)	31	C S

NUMBERS ARE DOPE SHEET REFERENCES, NOT PIN BOARD NUMBERS

		SIGNALS: OUT 1	METER	OUT 2	ENVEL	RING MOD A	RING MOD B	REVERB	FILTER	CONTROLS: OSC. FREQ 1	OSC. FREQ 2	OSC. FREQ 3	DECAY	REVERB	FILTER	OUT AMPS 1	OUT AMPS 2	
OUT CHAN	1																	1
	2					●												2
OSC	1	●					●											3
OSC	2							●										4
OSC 3	⊓⊔																	5
	∼												1	2				6
NOISE																		7
INPUT AMPS	1									10								8
	2										10							9
FILTER				●														10
TRAPEZ																		11
ENV SIG																		12
RING MOD																		13
REVERB									●									14
STICK	↔															40		15
	↕														30			16
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	



VCS 3 DOPE SHEET - ELECTRONIC MUSIC STUDIOS (LONDON) LTD.

Figure 9

L'oscillateur 3 commande le rapport cyclique des oscillateurs principaux 1 et 2, par une connexion externe indiquée en L6 et M6.

Le programme ICOSA/RE COSA MATERIALE peut être appelé par toute personne le désirant : il occupe la zone mémoire 2460 - 273C en PROM sur l'INTELLEC-8. Faire la commande :

M2460,273C,0FB0

toutefois, la version actuelle présentée ici contient des modifications à la version PROM. Il est donc conseillé de modifier les octets suivants, d'après l'état du programme donné ici :

0FF4–1006
1026
121F
1223
122B
123F
124B
125C
1275
128C–12B7

Enfin, mentionnons qu'une première version du programme ICOSA a été diffusée comme musique d'environnement pendant l'exposition du peintre RICO à Créteil en février 1977. La version Live fut donnée à Francfort et à Zurich (avril 1977) et la version récente sur bande, mixée au studio électroacoustique du département Musique de Vincennes, a été inscrite au programme du Festival de Musique Expérimentale de Bourges (mai 1977).

LES SOUS-PROGRAMMES ET LEURS FONCTIONS

```
100A    MONITEUR V1    SI AIG=1
                           CAL 1100   OUT
                           CAL 1080   IN.V
                           JMP 1044   F1
                       SINON
                           CAL 1100   OUT
                           CAL 10B0   DC.V
                           JMP 1044   F1
1080    IN.V           VVAR←VVAR+1
                       SI VVAR≠VMAX ALORS RETURN
                       SINON AIG←0
                           CAL 1200   REGTEM
                           CAL 10E4
                           AIG 0
                                            RETURN
10B0    DC.V           VVAR←VVAR-1
                       SI VVAR≠0    ALORS RETURN
                       SINON AIG←1
                           CAL 1200   REGTEM
                           CAL 10E7
                           CAL 1140   FR.V
                                            RETURN
1044    MONITEUR F1    SI AIG=1
                           CAL 1100   OUT
                           CAL 1170   IN.F
                           JMP 119A   V2
                       SINON
                           CAL 1100   OUT
                           CAL 114D   DC.F
                           JMP 119A   V2
109C                   VMAX←AL
                       VVAR←0
10CB    FR.F           FRF←AL
10E4    FR.V           FRV←AL
1100    OUT
110A                   FVAR←AL/2
                       FMAX←FF
1112                   FVAR←FF
                       FMAX←AL/2
1120    ALEA
114D    DC.F           FVAR←FVAR-1
                       SI FVAR≠FMAX ALORS RETURN
                       SINON
                           AIG←1
                           CAL 1200   REGTEM
                           CAL 1112
                                      RETURN
```

```
1170    IN.F             FVAR←FVAR+1
                         SI FVAR≠FMAX ALORS RETURN
                         SINON
                            AIG←0
                            CAL 1200   REGTEM
                            CAL 110A   FVAR←AL/2
                            CAL 10D7   FR.F
                                             RETURN
119A    MONITEUR V2
11D0    MONITEUR F2
1200    REGTEM           TEM←AL/4
                         SI REG=0 ALORS
                            TEM←TEM/4+02
                         SI REG=1 ALORS
                            TEM←TEM/3+01
                         SI REG=2 OU 3 ALORS
                            TEM←DONNEES*RES+0F
                            CPT←CPT-1
                         SI CPT≠0       ALORS RETURN
                         SINON
                            A←TEM/(REG+2)
                            CPT←FF/(RES+3)
                            CPT←CPT+A
                            REG←AL/7
                         SI REG=0
                         SI BIT 0 DE DONNEES ≠ 1 ALORS RETURN
                         SINON TOUS LES REG←0
                                             RETURN
```

ZONE MEMOIRE DE RANGEMENT

adresse : 1400

00	AL
01	AIG V1
02	REG
03	TEM
04	CPT
05	VAR
06	MAX
07	FRV1
08	REG
09	TEM
0A	CPT
0B	VAR
0C	MAX
0D	AIG TEMPORAIRE
0E	
0F	L
10	AIG F1
11	REG
12	TEM
13	CPT
14	VAR
15	MAX
16	FRF1
17	REG
18	TEM
19	CPT
1A	VAR
1B	MAX
1C	
1D	AIG V2
1E	REG
1F	TEM
20	CPT
21	VAR
22	MAX
23	FRV2
24	REG
25	TEM
26	CPT
27	VAR
28	
29	AIG F2
2A	REG
2B	TEM
2C	CPT
2D	VAR
2E	MAX
2F	FRF2
30	REG
31	TEM
32	CPT
33	VAR
34	MAX

```
0FB0  XRA
0FB1  OUT 09
0FB2  LLI 00
0FB4  LMI 14
0FB6  LMI DA
0FB8  INL
0FB9  LMI 01
0FBB  INL
0FBC  LMI 01
0FBE  INL
0FBF  INL
0FC0  LMI 01
0FC2  INL
0FC3  CAL 1200
0FC6  LEM
0FC7  CAL 109C
0FCA  LEM
0FCB  CAL 1140
0FCE  LEM
0FCF  CAL 109F
0FD2  LLI 10
0FD4  LMI 00
0FD6  INL
0FD7  LMI 01
0FD9  INL
0FDA  INL
0FDB  LMI 01
0FDD  INL
0FDE  CAL 1200
0FE1  CAL 1112
0FE4  LLI 11
0FE6  LMI 01
0FE8  LLI 0A
0FEA  LMI 01
0FEC  LLI 19
0FEE  LMI 01
0FF0  LLI 17
0FF2  LMI 01
0FF4  LBI 01
0FF6  LLI 10
0FF8  LMB
0FF9  INL
0FFA  LMB
0FFB  LLI 24 $
0FFD  LMB
0FFE  LLI 29 )
1000  LMB
1001  INL
1002  LMB
1003  LLI 30 0
1005  LMB
1006  JMP 100A
1009              ←—— 0F
100A  LDI 04
100C  LLI 01
100E  XRA
```

```
100F  CPM
1010  JTZ  1029
1013  LLI  03
1015  LEM
1016  LLI  05
1018  LAM
1019  CAL  1100
101C  LAM
101D  CAL  1080
1020  LLI  0D
1022  LAM
1023  LLI  01
1025  LMA
1026  JMP  1044
1029  LLI  09
102B  LEM
102C  LLI  0B
102E  LAM
102F  CAL  1100
1032  LAM
1033  CAL  1080
1036  JMP  1020
1039                 --- 0F
103A                 --- 0F
103B                 --- 0F
103C                 --- 0F
103D                 --- 0F
103E                 --- 0F
103F                 --- 01
1040                 LLI 36  6
1041                 LBI 0E
1042                 LMI 3E  >
1043                 --- 01
1044  LDI  08
1046  XRA
1047  LLI  10
1049  CPM
104A  JTZ  1063
104D  LLI  12
104F  LEM
1050  LLI  14
1052  LAM
1053  CAL  1100
1056  LAM
1057  CAL  1170
105A  LLI  0D
105C  LAM
105D  LLI  10
105F  LMA
1060  JMP  119A
1063  LLI  18
1065  LEM
1066  LLI  1A
1068  LAM
1069  CAL  1100
106C  LAM
106D  CAL  114D
1070  JMP  105A
1073                 --- 0F
1074                 --- 0F
1075                 --- 0F
1076                 --- 0F
1077                 --- 0F
1078                 --- 0F
1079                 --- 0F
107A                 --- 0F
```

```
107B                    --- 0F
107C                    --- 0F
107D                    --- 0F
107E                    --- 0F
107F                    --- 0F
1080  LBA
1081  INB
1082  LAB
1083  INL
1084  CPM
1085  JTZ  108F
1088  DCL
1089  LMA
108A  LLI  0D
108C  LMI  01
108E  RET
108F  DCL
1090  CAL  1200
1093  CAL  109C
1096  LLI  0D
1098  LMI  00
109A  RET
109B                    --- 0F
109C  LMI  00
109E  INL
109F  CAL  1120
10A2  LMA
10A3  RET
10A4                    --- 0F
10A5                    --- 0F
10A6                    --- 0F
10A7                    --- 0F
10A8                    --- 0F
10A9                    --- 0F
10AA                    --- 0F
10AB                    --- 0F
10AC                    --- 0F
10AD                    --- 0F
10AE                    --- 0F
10AF                    --- 0F
10B0  LEL
10B1  LLI  0D
10B3  LBA
10B4  DCB
10B5  JTZ  10BD
10B8  LMI  00
10BA  LLE
10BB  LMB
10BC  RET
10BD  LMI  01
10BF  LLE
10C0  LMB
10C1  CAL  1200
10C4  CAL  109F
10C7  CAL  10E4
10CA  RET
10CB  LBI  16
10CD  LCI  D2
10CF  LAL
10D0  CPI  14
10D2  JTZ  10D9
10D5  LBI  2F /
10D7  LCI  20
10D9  LLB
10DA  CAL  1120
10DD  LMA
```

```
10DE   OUT 0B
10DF   LAC
10E0   OUT 09
10E1   XRA
10E2   OUT 09
10E3   RET
10E4   LBI 07
10E6   LCI 01
10E8   LAL
10E9   CPI 0B
10EB   JTZ 10F2
10EE   LBI 23 #
10F0   LCI 10
10F2   LLB
10F3   CAL 1120
10F6   LMA
10F7   OUT 0B
10F8   LAC
10F9   OUT 09
10FA   XRA
10FB   OUT 09
10FC   RET
10FD              --- 0F
10FE              --- 0F
10FF              --- 0F
1100   OUT 0B
1101   LAD
1102   OUT 09
1103   XRA
1104   OUT 09
1105   DCE
1106   JFZ 1105
1109   RET
110A   JMP 1132
110D              --- 0F
110E              --- 0F
110F              --- 0F
1110              --- 0F
1111              --- 0F
1112   LMI FF
1114   INL
1115   CAL 1120
1118   RRC
1119   NDI 7F
111B   LMA
111C   RET
111D              --- 0F
111E              --- 0F
111F              --- 0F
1120   LAL
1121   LLI 0F
1123   LMA
1124   LLI 00
1126   LAM
1127   ADA
1128   JFS 1120
112B   XRI 7D
112D   LMA
112E   LLI 0F
1130   LLM
1131   RET
1132   CAL 1120
1135   RRC
1136   NDI 7F
1138   LMA
1139   INL
```

```
113A  LMI FF
113C  RET
113D            --- 0F
113E            --- 0F
113F            --- 0F
1140  LLI 07
1142  CAL 1120
1145  LMA
1146  OUT 0B
1147  LAI 01
1149  OUT 09
114A  XRA
114B  OUT 09
114C  RET
114D  LBA
114E  DCB
114F  LAB
1150  INL
1151  CPM
1152  JTZ 115C
1155  DCL
1156  LMA
1157  LLI 0D
1159  LMI 00
115B  RET
115C  DCL
115D  LEL
115E  LLI 0D
1160  LMI 01
1162  LLE
1163  CAL 1200
1166  CAL 1112
1169  RET
116A            --- 0F
116B            --- 0F
116C            --- 0F
116D            --- 0F
116E            --- 0F
116F            --- 0F
1170  LBA
1171  INB
1172  LAB
1173  INL
1174  CPM
1175  JTZ 117F
1178  DCL
1179  LMA
117A  LLI 0D
117C  LMI 01
117E  RET
117F  DCL
1180  LEL
1181  LLI 0D
1183  LMI 00
1185  LLE
1186  CAL 1200
1189  CAL 110A
118C  LLE
118D  CAL 10CB
1190  RET
1191            --- 0F
1192            --- 0F
1193            --- 0F
1194            --- 0F
1195            --- 0F
1196            --- 0F
```

```
1197                      --- 0F
1198                      --- 0F
1199                      --- 0F
119A   LDI  40 @
119C   LLI  1D
119E   XRA
119F   CPM
11A0   JTZ  11B9
11A3   LLI  1F
11A5   LEM
11A6   LLI  21  !
11A8   LAM
11A9   CAL  1100
11AC   LAM
11AD   CAL  1080
11B0   LLI  0D
11B2   LAM
11B3   LLI  1D
11B5   LMA
11B6   JMP  1100
11B9   LLI  25  %
11BB   LEM
11BC   LLI  27  '
11BE   LAM
11BF   CAL  1100
11C2   LAM
11C3   CAL  1080
11C6   JMP  11B0
11C9                      --- 0F
11CA                      --- 0F
11CB                      --- 0F
11CC                      --- 0F
11CD                      --- 0F
11CE                      --- 0F
11CF                      --- 0F
11D0   LDI  80
11D2   XRA
11D3   LLI  29  )
11D5   CPM
11D6   JTZ  11EF
11D9   LLI  2B  +
11DB   LEM
11DC   LLI  2D  -
11DE   LAM
11DF   CAL  1100
11E2   LAM
11E3   CAL  1170
11E6   LLI  0D
11E8   LAM
11E9   LLI  29  )
11EB   LMA
11EC   JMP  100A
11EF   LLI  31  1
11F1   LEM
11F2   LLI  33  3
11F4   LAM
11F5   CAL  1100
11F8   LAM
11F9   CAL  114D
11FC   JMP  11E6
11FF                      --- 0F
1200   LDL
1201   DCL
1202   DCL
1203   CAL  1120
1206   RRC
```

```
1207  RRC
1208  RRC
1209  NDI  1F
120B  LMA
120C  DCL
120D  LBM
120E  INB
120F  INL
1210  DCB
1211  JTZ  1222
1214  DCB
1215  JFZ  1232
1218  RRC
1219  RRC
121A  NDI  3F  ?
121C  ADI  01
121E  LMA
121F  JMP  123F
1222  LAM
1223  RRC
1224  RRC
1225  RRC
1226  NDI  1F
1228  ADI  02
122A  LMA
122B  JMP  123F
122E              --- 0F
122F              --- 0F
1230              --- 0F
1231              --- 0F
1232  IN   00
1233  LAA
1234  RLC
1235  NDI  FE
1237  DCB
1238  JFZ  1234
123B  ADI  0F
123D  LMA
123E  LAA
123F  INL
1240  LBM
1241  DCB
1242  JTZ  1248
1245  LMB
1246  LLD
1247  RET
1248  DCL
1249  DCL
124A  LBM
124B  LAA
124C  INB
124D  INB
124E  INL
124F  LAM
1250  RRC
1251  NDI  7F
1253  DCB
1254  JFZ  1250
1257  INL
1258  LMA
1259  DCL
125A  DCL
125B  LBM
125C  LAA
125D  INB
125E  INB
```

```
125F   INB
1260   LAI  FF
1262   RRC
1263   NDI  7F
1265   DCB
1266   JFZ  1262
1269   INL
126A   INL
126B   LBM
126C   ADB
126D   LMA
126E   DCL
126F   DCL
1270   XRA
1271   CPM
1272   JFZ  127D
1275   JMP  128C
1278                 ADI  04
1279                 ---  0F
127A                 LMA  FB
127B                 DCL  31  1
127C                 DCL  31  1
127D   CAL  1120
1280   LBI  06
1282   RRC
1283   NDI  7F
1285   DCB
1286   JFZ  1282
1289   LMA
128A   LLD
128B   RET
128C   INL
128D   INL
128E   LAM
128F   ADI  0F
1291   LMA
1292   DCL
1293   DCL
1294   IN   00
1295   NDI  01
1297   JFZ  127D
129A   LBL
129B   XRA
129C   LLI  02
129E   LMA
129F   LLI  08
12A1   LMA
12A2   LLI  11
12A4   LMA
12A5   LLI  17
12A7   LMA
12A8   LLI  1E
12AA   LMA
12AB   LLI  24  $
12AD   LMA
12AE   LLI  2A  *
12B0   LMA
12B1   LLI  30  0
12B3   LMA
12B4   LLB
12B5   JMP  127D
12B8                 HLT  FF
----
```